

УДК 612.846

ВИЗНАЧЕННЯ ДІАМЕТРА ЗІНИЦІ ОКА ЛЮДИНИ БЕЗКООНТАКТНО

Слюсар С. В., бакалавр
svetaslusar2@gmail.com

Настенко Є. А.

Факультет біомедичної інженерії

Національний технічний університет України

«Київський політехнічний інститут імені Ігоря Сікорського»

Київ, Україна

Реферат – в сучасному світі людська діяльність тісно пов'язана з комп'ютерними технологіями. Автоматизація поширюється на всі сфери життя, зокрема й на медицину. При медичному обстеженні важко обійтись без спеціаліста, але використовуючи надійні прилади для діагностики здоров'я пацієнтів можна виключити вплив людського фактору. Одним з етапів діагностики здоров'я є перевірка рефлексу зіниць очей, тому важливо мати ефективний автоматизований прилад для вимірювання їх параметрів. Порушення реакції зіниці ока на джерело світла може свідчити про неправильну роботу функціональних систем людини. Найчастіше це спричинено дією психотропних речовин та наркотичних засобів. Детектування змін розмірів зіниці ока частково вирішує задачу розпізнавання емоцій, зважаючи на широкий спектр можливих рішень. Також аналіз поведінки очей – ґрунтова основа для створення точного детектора брехні та для пристроїв, які дозволяють керувати комп'ютером за допомогою погляду. Безконтактні пристрої особливо актуальні серед людей з обмеженими можливостями та дозволяють покращити їх життя. Такі пристрої виконують ряд завдань: спілкування в мережі Інтернет, здійснення запитів в пошукових системах та розваги. Розробкою подібних технологій вже займаються шведські, українські, ізраїльські, американські компанії та дослідницькі центри, зокрема при навчальних закладах. Для власної розробки аналогів фірмових пристроїв існують бібліотеки відкритого доступу. Вирішення поставленої задачі потребує наявності камери для реєстрації зображень. Для проведення досліджень можна використовувати веб-камеру, влаштовану в ноутбук. Вхідне зображення, або кадр (у випадку відео) потребує попередньої обробки для детектування зіниць ока. Тому що на вхідні дані впливають зовнішні фактори, серед яких – рівень освітленості, параметри веб-камери. Попередня обробка включає бінаризацію та контурний аналіз. Безпосередньо для детектування зіниць можливе використання двох основних алгоритмів – перетворення Хаффа RANSAC (RandomSampleConsensus), які виконують поставлену задачу, але з різною точністю.

Ключові слова — детектування, міоз, діагностика, мідріаз, пупілометр.

I. Вступ

В умовах сучасного ритму розвитку новітніх технологій неможливо уявити людину без її взаємодії з комп'ютером. Автоматизовані системи набувають все більшого поширення в різних сферах життєдіяльності, у тому числі й в медицині. Використання таких систем включає вплив людського фактору при проведенні обстеження пацієнта.

Одним з етапів діагностики здоров'я людини є перевірка рефлексу зіниць очей. При ручному обстеженні патологій зорового рефлексу виникає ряд помилок та невідповідностей визначених показників за різних умов для одного пацієнта. Тому важливо мати надійний автоматизований пупілометр, який дозволяє об'єктивно проводити вимірювання параметрів та детектувати рефлeksi зіниці ока. В наш час доступно декілька таких приладів, хоча їх ви-

користання обмежується науковими дослідженнями.

II. Сфери застосування

Розміри зіниці людини мають досить широкий діапазон: починаючи з 7.5–8 мм при повному мідріазі (рис. 1) до 1.5–2 мм при міозі (рис. 2)[1].



Рис. 1. Зіниця ока при мідріазі [2]

Рис. 2. Зіниця ока при міозі [2]

На середні розміри зіниці ока впливає вік [3], стать [4], колір райдужної оболонки [5],

стан здоров'я сітківки ока та зорового нерву [1], а також чіткість оптичних носіїв інформації, які використовуються для виміру розмірів зіниці ока. Але одним з найважливіших факторів, які впливають на розмір зіниці ока – це рівень освітленості.

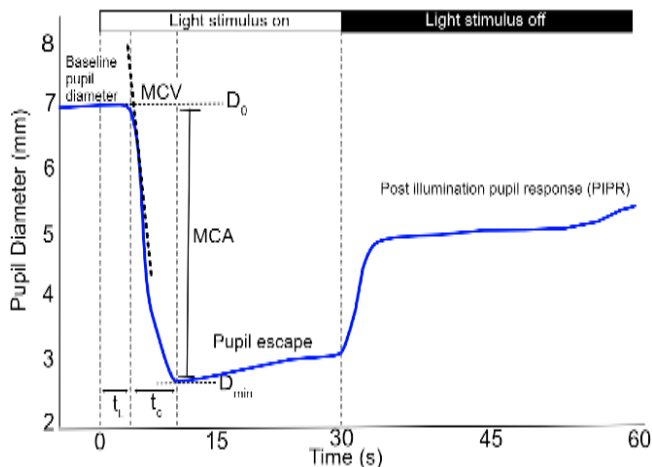


Рис. 3. Графік зміни розмірів зіниці ока [3]

Основа усіх досліджень – це реакція зіниці ока на джерело світла. На рисунку 3 графічно зображено зміни розмірів зіниць при зміні освітлення (позначено синьою лінією). Початок часового відліку – це початок збільшення інтенсивності світла, що викликає зменшення діаметру зіниць із незначною затримкою (3). З певною швидкістю (maximal constriction velocity; MCV) розміри зіниці зменшуються від початкового діаметру D_0 до діаметру D_{min} . Час звуження та максимальна амплітуда звуження позначені як t_c , MCA відповідно. Після зменшення інтенсивності світла розміри зіниці поступово повертаються до початкових значень (3).

А. Діагностика здоров'я

Досліджуючи реакцію зіниці ока на джерело світла, можна виявити порушення у роботі функціональних систем організму людини. Серед таких порушень виділяють: алкоголізм, шизофренія, хвороби Альцгеймера, захворювання Паркінсона, глаукома, вегетативні невротатії, пов'язані з діабетом [3]. Таке спостереження підтверджено рядом досліджень, які, як правило, використовують світлові подразники з довжиною хвилі 820 нм з інтенсивністю світла 24.6 кд/м².

В результаті одного з досліджень, яке проводилось для оцінки здатності сідати за кермо автомобіля учасника дорожнього руху, виявлено значні зміни розмірів зіниці ока під впли-

вом речовин, що діють на центральну нервову систему [6].

В. Визначення емоційного стану

Динаміка зміни розмірів зіниці ока також може свідчити і про емоційне збудження [7]. Всі звикли, що міміка є основним способом відображення емоцій, але насправді емоція може бути виведена ще й з аналізу ока людини. За розширення зіниць відповідає симпатична система, контролюючи радіальний розширювальний м'яз завдяки активації симпатичної системи стимуляції. За звуження зіниць відповідає парасимпатична система, яка контролює сфінктерний м'яз райдужної оболонки. Людина має досить широкий спектр емоцій і кожна з них має свої характеристики, що ускладнює задачу розпізнавання емоцій за зоровим рефлексом. Наприклад, у дослідженні [7] представлена штучна нейронна мережа, яка виявляє лише чотири емоції, такі як: нейтральна, відраза, сміх та зацікавленість. Запропоноване рішення щодо визначення емоційного стану представлено на основі збору даних від візуальних сенсорів, які стимулюють емоції в учасників експерименту.

Ще одним напрямком застосування аналізу змін розмірів зіниць ока є детектор брехні. Такий детектор дозволяє перевіряти претендентів на роботу, робітників, умовно звільнених ув'язнених та імігрантів. У 2003 році компанія Conversus представила програмний продукт EyeDetect, який дає результати з точністю 86 % за 30 хвилин. Окрім вимірювання змін діаметра зіниць, EyeDetect слідує за рухом очей, кліпанням, зосередженістю та іншим (загалом 15 факторів впливу).

Такий спосіб детектування брехні, на відміну від всім відомого поліграфа, враховує не лише емоційний стан людини, але й фізичний. До того ж, поліграф аналізує реакції людини під час відповіді на конкретне запитання, тоді як аналізуючи поведінку очей, можна спостерігати за піддослідним в режимі реального часу.

С. Створення пристроїв, які дозволяють керувати комп'ютером за допомогою погляду

Це особливо актуально серед людей з обмеженими можливостями. Використовуючи пристрої, які здатні слідувати за поглядом, людина з обмеженими можливостями може виконувати широкий спектр завдань за допомогою комп'ютера. Серед таких завдань мож-

на відзначити: відправлення текстових та голосових повідомлень, пошук в Інтернеті, комп'ютерні ігри [8] та інше. Імперський коледж Лондона розробив технологію, яка дозволяє забезпечити виконання поставлених задач, а отже й здатна покращити якість життя. Дослідники продемонстрували, як можна грати в гру Pong за допомогою руху очей. Представлений пристрій складається з двох ігрових камер, які прикріплені до пари окулярів, недалеко від лінії зору. Необхідна інформація передається через Wi-Fi або USB на комп'ютер з операційною системою Windows або Linux. Камери здатні розпізнавати, куди вказує зіниця ока. Окрім дослідників Імперського коледжу, подібними розробками займається команда університету штату Мінесота, яка працює над пристроєм під назвою ERICA (Eye-GazeResponseInterfaceComputerAid) [9]. Також варто відзначити одного з провідних світових постачальників детекторів очей Tobii Assistive Technology Inc. (ATI). Остання їх розробка – Tobii Eye Tracker 4C – також дозволяє дистанційно керувати комп'ютером за допомогою рухів очей. Крім того, проводяться розробки таких технологій для смартфонів. Цим займаються, наприклад, компанія Samsung та ізраїльська фірма uMoove.

Д. Персональні дослідження

Представлені рішення реєстрації параметрів очей досить ефективні, але потребують технічного оснащення та платного програмного забезпечення. Це може дозволити собі не кожен, незважаючи на усі можливості, які відкриваються перед людиною, яка придбала для себе подібні пристрої. Виникає питання, чи можливо створити бюджетний аналог таких розробок, який стане доступним для широкого кола споживачів. Провівши детальний аналіз відкритих ресурсів для дослідження поставленої задачі, можна ствердно відповісти на дане запитання. Представлені вище технології використовують додаткові камери, які під'єднуються до комп'ютера користувача. Але можна використовувати вже влаштовану веб-камеру, у випадку ноутбука, або під'єднати, у випадку настільного комп'ютера. Якість переданих даних на вхід програмного забезпечення для подальшої обробки залежить від параметрів веб-камери та від рівня освітленості, як і при застосовуванні більш коштовних аналогів.

Сучасний підхід для обробки зображень – це використання бібліотеки відкритого досту-

пу OpenCV (Open Source Computervision) з досить зручним інтерфейсом. Функціонал цієї бібліотеки використовується такими великими компаніями, як Microsoft, Intel, Siemens, IBM (International Business Machines).

Знаючи, що зіниця ока має круглу форму, ефективним методом для її розпізнавання є контурний аналіз. Цей метод призначений для опису, збереження, розпізнавання, порівняння та пошуку графічних об'єктів. В бібліотеці Open CV є 3 основні функції для визначення контурів зображення: алгоритм Кенні, порогове перетворення та алгоритм Фрімена [10]. Перед проведенням контурного аналізу зображення бінаризують. Бінаризоване зображення має лише два можливих значення кожного пікселя. Це дозволяє покращити ефективність пошуку контурів зображення. Після проведення контурного аналізу необхідно розпізнати окружність, тобто зіницю ока. Це можливо виконати, використовуючи один з двох найпоширеніших алгоритмів: перетворення Хафа та RANSAC (Random Sample Consensus) [11]. Для визначення більш ефективного з них, використаємо базу даних CASIA, яка має набір зображень очей. Результати дослідження представлено в таблиці 1, де N – це кількість.

Таблиця 1. Порівняння алгоритмів

<i>Назва алгоритму</i>	<i>N кадрів</i>	<i>N розпізнавань</i>	<i>N вірних розпізнавань</i>
Перетворення Хафа	30	30	20
RANSAC	30	30	29

Як бачимо, алгоритми відрізняються за кількістю вірних розпізнавань. Такий результат можна пояснити тим, що перетворення Хафа ефективне для обробки зображень з чітко представленими контурами та чітко представленим об'єктом для розпізнавання. Але при відеозйомці очей людини існує велика кількість зовнішніх факторів впливу на якість кадру. Перш за все, це рівень освітленості. Знімки, отримані в обід, яскравіші в 3–5 раз, ніж знімки, отримані в нічний час. По-друге, це нечіткість кадру у зв'язку з недостатніми параметрами веб-камери. RANSAC має переваги у цьому відношенні, так як при його використанні можна визначити відсоток об'єкта, за яким визначатиметься приналежність контрольних точок.

III. Висновки

Отже, задача визначення розмірів зіниць ока людини є важливою задачею для багатьох сфер людської діяльності, починаючи з медицини, закінчуючи розвагами. Її вирішенню займаються провідні компанії та наукові центри. Крім того, є можливість створювати аналоги розробок, використовуючи веб-камеру свого комп'ютера та можливості бібліотеки вільного доступу OpenCV. В статті розглянуті можливі варіанти програмної реалізації детектора зіниць ока. Встановлено, що серед двох основних алгоритмів – перетворення Хафа та RANSAC – найбільш точно працює RANSAC, у зв'язку з більшою адаптивністю до впливу зовнішніх факторів.

ПЕРЕЛІК ПОСИЛАНЬ

- [1] I. Loewenfeld, "The Pupil: Anatomy, Physiology, and Clinical Applications," *Butterworth-Heinemann*, no. 2, 1999.
- [2] «Анизокори́я.» [В Інтернеті]. Available: <http://doktorland.ru/anizokoriya.html>. [Дата звернення: 5 Квітень 2018].
- [3] C. A. Hall and R. P. Chilcott, "Eyeing up the Future of the Pupillary Light Reflex in Neurodiagnostics," *Diagnostics*, vol. 8, no. 1, 2018.
- [4] X. Fan, L. Hearne, B. Lei, J. Miles, N. Takahashi and G. Yao, "Weak gender effects on transient pupillary light reflex," *Autonomic Neuroscience: Basic Clinical*, no. 1-2, pp. 9-13, 2009.
- [5] O. Bergamin, A. Schoetzau, K. Sugimoto и M. Zulauf, «The influence of iris color on the pupillary light reflex,» *Graefes Arch Clin Exp Ophtalmol*, pp. 567-570, 1998.
- [6] F. Monticelli, W. Hitzl, F. Priemer, U. Preiss, S. Kunz and T. Keller, "The potential of infrared pupillography in routine police traffic checks," in *Rechtsmedizin*, Springer Berlin Heidelberg, 2015, pp. 466-473.
- [7] V. Raudonis, A. Paulauskaite, A. Vilkauskas, G. Derwinis and G. Kersulyte, "Evaluation of human emotion from eye motions," *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 4, no. 8, pp. 79-84, 2013.
- [8] J. Antunes and P. Santana, "Gaze-oriented gameplay in first-person shooter games," in *proceedings of the 24th Portuguese Meeting on Computer Graphics and Interaction (EPCGI)*, pp. 231-232, 2017.
- [9] C. Reitan, "Eye-Gaze Response Interface Computer Aid (ERICA) tracks eye movement to enable hands-free computer operation," *UMD Communicaion Sciences and Disorders Tests New Technology*, 2005.
- [10] «OpenCV шаг за шагом. Нахождение контуров и операции с ними,» 13 Листопад 2011. [Онлайновий]. Available: <http://robocraft.ru/blog/computervision/640.html>. [Дата звернення: 5 Квітень 2018].
- [11] «OpenCV Tutorials,» 22 Декабрь 2017. [В Інтернеті]. Available: https://docs.opencv.org/3.4.0/d9/df8/tutorial_root.html. [Дата звернення: 5 Апрель 2018].
- [12] M. Bradley, L. Miccole, M. Escrig and J. Lang, "The pupil as a measure of emotional arousal and autonomic activation," *Psychophysiology*, no. 4, pp. 602-607, 2008.
- [13] D. Zax, "MIT Technology Review," *MIT Technology review*, 19 Липень 2012.

DETERMINATION OF THE PUPIL DIAMETER OF THE HUMAN EYE IS CONTACTLESS

Slyusar S. V., bachelor, svetaslusar2@gmail.com

Nastenko Ye. A.

Faculty of Biomedical Engineering

National Technical University of Ukraine

“Igor Sikorsky Kyiv Polytechnic Institute”, Kyiv, Ukraine

Abstract - in the modern world, human activity is closely related to computer technology. The automation extends to all spheres of life, including medicine. It is difficult to imagine a medical examination without a specialist, but using the reliable equipment for diagnosing patients' health can exclude the human influence. Checking the reflex of eye pupils is a part of health diagnosis. So it is important to have an effective automated device for measuring their parameters. Violation of the eye pupil reaction to a light source may indicate an inappropriate work of human functional systems. Most often, it is caused by the action of psychotropic substances and drugs. Detection of changes in the eye pupil's size partially solves the problem of recognizing emotions, given the wide range of possible solutions. In addition, eye behavior analysis is a solid basis for creating an accurate lie detector and for devices that allow to control your computer with a view. Contactless devices are especially relevant for people with disabilities and can improve their lives. Such devices perform a number of tasks: communication on the Internet, search requests and entertainment. Swedish, Ukrainian, Israeli, American companies and research centers (especially in educational institutions) are already engaged in the development of such technologies. There are open access libraries for own development of branded devices. Solving the task requires a camera for image registration. To conduct research, you can use a webcam arranged in a laptop. The input image or frame (in the case of video) requires pre-processing to detect eye pupils. Because the input data is influenced by external factors, including the level of illumination, the parameters of the webcam. Preliminary processing involves binarization and contour analysis. Directly for the detection of the pupils, it is possible to use two basic algorithms – Hough transform and RANSAC (Random Sample Consensus), which carry out the task but with different accuracy.

ОПРЕДЕЛЕНИЕ ДИАМЕТРА ЗРАЧКА ГЛАЗА ЧЕЛОВЕКА БЕСКОНТАКТНО

Слюсар С. В., бакалавр, svetaslusar2@gmail.com

Настенко Е. А.

Факультет биомедицинской инженерии

Национальный технический университет Украины

«Киевский политехнический институт имени Игоря Сикорского», Киев, Украина

Реферат – в современном мире человеческая деятельность тесно связана с компьютерными технологиями. Автоматизация распространяется на все сферы жизни, в том числе и на медицину. При медицинском обследовании трудно обойтись без специалиста, но используя надежные приборы для диагностики здоровья пациентов можно исключить влияние человеческого фактора. Одним из этапов диагностики здоровья является проверка рефлекса зрачков глаз, поэтому важно иметь эффективный автоматизированный прибор для измерения их параметров. Нарушение реакции зрачка глаза на источник света может свидетельствовать о неправильной работе функциональных систем человека. Чаще всего это вызвано действием психотропных веществ и наркотических средств. Детектирование изменений размеров зрачка глаза частично решает задачу распознавания эмоций, учитывая широкий спектр возможных решений. Также анализ поведения глаз – основательная база для создания точного детектора лжи и для устройств, которые позволяют управлять компьютером с помощью взгляда. Бесконтактные устройства особенно актуальны среди людей с ограниченными возможностями и позволяют улучшить их жизнь. Такие устройства выполняют ряд задач: общение в сети Интернет, осуществления запросов в поисковых системах и развлечения. Разработкой подобных технологий уже занимаются шведские, украинские, израильские, американские компании и исследовательские центры, в частности при учебных заведениях. Для собственной разработки аналогов фирменных устройств существуют библиотеки открытого доступа. Решение поставленной задачи требует наличия камеры для регистрации изображений. Для проведения исследований можно использовать веб-камеру, встроенную в ноутбук. Входное изображение, или кадр (в случае видео) требует предварительной обработки для детектирования зрачков глаз. Потому что на входные данные влияют внешние факторы, среди которых – уровень освещенности, параметры веб-камеры. Предварительная обработка включает бинаризацию и контурный анализ. Непосредственно для детектирования зрачков возможно использование двух основных алгоритмов – преобразование Хафа и RANSAC (Random Sample Consensus), которые выполняют поставленную задачу, но с разной точностью.